

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0587

许静, 吴鑫悦, 李文龙. 区域尺度生态保护红线分区研究: 以我国西北地区为例. 草业科学, 2021, 38(7): 1218-1230.

XU J, WU X Y, LI W L. Ecological conservation redline zoning at the regional scale: A case study of northwest China. Pratacultural Science, 2021, 38(7): 1218-1230.

区域尺度生态保护红线分区研究: 以我国西北地区为例

许 静¹, 吴鑫悦², 李文龙³

(1. 兰州财经大学农林经济管理学院西部资源环境与区域发展研究中心,
甘肃 兰州 730101; 2. 兰州财经大学经济学院, 甘肃 兰州 730101; 3. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 作为生态环境问题催生的新兴领域, 生态保护红线分区不仅可以有效保护生态系统的结构和功能, 而且有利于维护区域生态安全。本研究基于“自下而上”的定量合并与“自上而下”的空间系统划分相结合的思想, 综合考虑我国西北地区生态系统的脆弱性、敏感性、生态功能重要性及生态风险, 运用分区分级、多维聚类等方法, 构建了“多尺度-多要素”的“生态脆弱性一级分区-生态系统状态二级分区”的综合分区体系, 对我国西北地区进行了生态保护红线分区。结果表明: 1) 西北地区可分为 6 个一级分区, 各分区面积分别占西北地区总面积的 24.5%、45.3%、6.9%、15.8%、0.3% 和 7.2%。2) 在一级分区约束下, 根据由生态系统服务功能、生态敏感性和区域生态风险决定的生态系统状态, 将西北地区进一步划分为 50 个生态保护红线二级分区。研究结果不仅可以为国土空间管理、规划和政策制定提供决策依据, 而且可以为保障西北地区生态安全屏障作用的有效发挥、西北地区生态文明建设的推进提供理论参考。

关键词: 生态保护红线; 二级分区体系; 生态脆弱区; 生态系统服务功能; 生态环境敏感性; 生态风险; 西北地区

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)07-1218-13

Ecological conservation redline zoning at the regional scale: A case study of northwest China

XU Jing¹, WU Xinyue², LI Wenlong³

(1. Institute for Resources, Environment and Regional Development in Western China, School of Agricultural and Forestry Economics and Management, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730101, Gansu, China;

2. School of Economics, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730101, Gansu, China;

3. School of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, Gansu, China)

Abstract: Ecological conservation redline zoning is a new research field that has arisen due to ecological and environmental issues. Redline zoning can effectively protect the structure and function of the ecosystem and help maintain regional ecological security. The “from bottom to top” quantitative merging concept and the “from top to bottom” idea, along with spatial systems; the comprehensive consideration of ecological vulnerability, ecosystem service function, ecological sensitivity and regional ecological risk in northwest China; and the use of the multidimensional clustering method, were used to establish a “multi-scale, multi-factor” comprehensive ecological conservation redline zoning system. The system is based on two zoning levels: “ecological vulnerability – first level zoning, and ecosystem status – second level zoning”. In this study, ecological conservation redline zoning in ecologically fragile areas across northwest China was carried out using this system. The basic results of this research are as follows: 1) According to ecological vulnerability, the northwest region can be

收稿日期: 2020-11-02 接受日期: 2021-04-06

基金项目: 国家社会科学基金 (14CJY010); 甘肃省软科学专项 (20CX9ZA060); 甘肃省高等学校创新能力提升项目 (2020A-063)

第一作者: 许静 (1983-), 女, 河北青县人, 副教授, 博士, 研究方向为生态经济与区域发展。E-mail: lattice630@sina.cn

通信作者: 李文龙 (1977-), 男, 甘肃兰州人, 教授, 博士, 研究方向为草业科学。E-mail: wllee@lzu.edu.cn

divided into six first-level zones. The area of each district accounts for 24.5%, 45.3%, 6.9%, 15.8%, 0.3%, and 7.2% of the total area of northwest China, respectively; and 2) based on the constraints of the first-level zoning, northwest China can be further divided into 50 second-level zones according to their ecosystem status as determined by ecosystem service function, ecological sensitivity, and regional ecological risk. These results not only provide a theoretical basis and reference for land space management, planning, and policy-making, but also maintain ecological security and promote the construction of an ecological civilization in northwest China.

Keywords: ecological conservation redline; two-grade zoning system; ecosystem service; eco-environmental sensitivity; ecological risk; ecologically fragile area; northwest China

Corresponding author: LI Wenlong E-mail: wlee@lzu.edu.cn

西北地区深居中国西北部内陆,在黄土高原—黄河中上游以西,昆仑山—阿尔金山—祁连山—秦岭以北,包括新疆、青海、甘肃、陕西、宁夏五省(区),约占全国总面积的1/3。西北地区自古以来就是保障国家安全的重要屏障,具有重要的战略地位。西北地区经济发展落后、人均收入较低,加快发展仍然是该区当前和今后一个时期的紧迫任务。然而,西北地区生态环境极为脆弱,生境条件相对恶劣^[1]。特殊的生态现状和生态区位,决定了西北地区承担国家生态安全屏障的关键使命,必须在确保生态安全的前提下,实现产业布局调整和经济增长方式转型。

作为生态环境问题催生的新兴领域,生态保护红线不仅可以对潜在重大生态问题起到警示作用,还可以为区域生态安全与状态稳定起到保障作用。生态保护红线作为维护生态安全、推进生态文明的保障线以及促进地区经济高质量发展、建设美丽中国的起点线,也已成为我国政府着力推行的关键举措。2015年,原环境保护部在《生态保护红线划定指南》(以下简称《指南》)草案中明确生态保护红线是管控与保障生态安全的基本指导线,即在具有重要生态服务功能的,生态环境脆弱、敏感的区域依法划定的空间界线;2017年在正式印发的《指南》中进一步阐述了生态保护红线是具有水源涵养、生物多样性维持等重要生态服务功能,以及存在水土流失、土地“三化”等生态环境敏感脆弱性,必须加以严格管控的区域。与此同时,国内学者也从各自的研究领域出发,开始对生态保护红线进行深入细致的研究,生态保护红线的内涵不断丰富和发展^[2-4],已由最初的生态系统保护或生态安全维护拓展到生态系统结构和功能健康稳定等方面,更加注重生态保护红线的内在机理与外在形式的表征^[5-8]。

在生态保护红线分区研究与实践方面,尽管国

内外没有明确的生态保护红线分区的相关提法,但其实质已经体现在自然保护区建设、生物多样性保育、生态系统恢复以及土地利用规划等方面的研究中,与生态保护红线的内涵和本质相互印证,如美国的国家公园^[9]、欧盟的生态基础设施^[10]、沿海国家的海岸建设退缩带^[11]等。在我国,早期的生态保护红线分区是直接将自然保护区、风景名胜区和历史文化区等纳入保护区范围^[12-13]。随着空间信息技术、空间统计方法的迅猛发展,以地理信息系统(Geographic Information System, GIS)支持为主要手段的空间区划方法已成为主流,且多以生态系统服务功能、生态环境敏感性的差异作为生态保护红线分区依据^[14-16]。此外,也有研究基于生态网络思想^[17]、最小累积阻力模型^[18]、压力状态响应模型^[19-20]等对生态保护红线分区进行了探索和实践。虽目前的生态保护红线分区方法有较大发展,但仍存在以下问题亟待改善:第一,生态环境问题具有典型的尺度性和区域差异性。多数研究忽略了生态系统特征、生态系统结构完整性及生态风险在生态系统健康稳定与生态安全维护中的重要作用;第二,区域尺度上的研究可以协调各行政区在生态保护空间划分上存在的差异和矛盾,解决相邻地理单元在分区中出现的无法衔接、空间冲突等问题^[21-22],避免生境破碎化。然而,多数研究以省^[5, 23-24]、市^[8, 12, 25]为空间范围,在区域尺度上的研究非常有限。

综上,本研究以生态保护红线理论为基础,优化分区指标体系和划分方法,在生态系统服务功能、生态环境敏感性评估的基础上,充分考虑区域生态脆弱性和生态风险的空间分异,对西北地区进行生态保护红线分区。研究旨在完善生态保护红线理论,以及为各级政府国土空间管理、规划实践提供理论依据和有益参考。

1 研究方法

1.1 二级生态保护红线分区体系

从空间尺度上分析生态保护红线分区的影响要素,生态脆弱性的影响尺度较大,生态系统服务功能、生态环境敏感性和生态风险水平的影响尺度次之。并且,生态脆弱性表现得相对稳定,在很大程度上决定着西北地区生态系统特征空间分异格局。由此,本研究在充分考虑西北地区生态脆弱性特征、生态系统服务功能、生态环境敏感性以及生态风险空间分异的基础上,通过建立二级分区体系对西北地区进行生态保护红线分区。首先进行区域生态脆弱性评价与分区,然后以《指南》为依据,开展西北地区生态系统服务功能评估、生态环境敏感性评估和区域生态风险评估。其中,将每一项要素属性与特征进行等级评定,并根据每一项要素在决定生态系统结构和功能健康、安全、稳定中的作用测算权重,综合评定后纳入生态保护红线划分范围。各要素在栅格单元尺度上进行分区后,通过空间聚类方法向上一级合并,最终形成生态保护红线空间叠加图。

1.2 生态保护红线分区指标体系

一级区表达生态保护红线分区的宏观背景,即生态脆弱性的自然属性差异,主要指地带尺度上的温度、降水与植被覆盖度等宏观影响因素;二级区表达生态保护红线分区的直接影响要素,即生态系统服务功能、生态环境敏感性与区域生态风险的空间分异。在选择分区指标时考虑其独立性与显著性,并建立生态保护红线分区指标体系(表 1)。

1.3 指标评估与分区方法

1.3.1 生态脆弱性评估方法

结合西北地区基本生态特征以及指标间的可操作性、可比性与精炼性,选取年均降水量、年均温度^[26-27]和植被覆盖度^[28-29]作为表征区域生态脆弱性的关键指标,以分析西北地区生态脆弱性的空间分异规律。基于 2015 年气象数据与植被覆盖数据,对各指标进行单因子评估,归一化并综合单因子评估结果,得到生态脆弱性综合评估结果,并利用 ArcGIS 10.2 软件的重分类工具,完成西北地区生态脆弱性一级分区方案。

1.3.2 生态系统服务功能和生态环境敏感性评估方法

依据《指南》,对生态系统服务功能(水源涵养、

水土保持、防风固沙和生物多样性维持)以及生态环境敏感性(水土流失、土地沙化)进行评估。鉴于西北地区生态系统所承担的上述各项服务功能的重要性,以及各类生态环境的敏感性有所差异,在进行综合评价时需要考虑各项功能的权重。熵权法基于热力学原理,因具有客观性强、适用多指标综合决策等优点而被广泛用于区域生态综合评估^[30]。本研究采用熵权法对各项生态系统服务功能以及各类生态环境敏感性进行赋权,具体方法参见文献[31]。

1.3.3 生态风险评估方法

景观生态风险指数是衡量外界干扰下生态系统动态变化的一系列景观格局参数,如景观破碎度、分离度、损失度等^[32]。基于全国土地资源分类系统和西北地区土地利用现状,将景观类型划分为 8 类,即耕地、森林、草地、灌木、湿地、水体、建设用地和裸地。采用等间距系统采样法,以 10 km × 10 km 的正方形样地对景观损失度指数空间化,共划分风险小区 29 274 个。在 GIS 支持下,建立西北地区景观格局矢量图,利用空间分析方法探讨西北地区生态风险指数空间分异,具体内涵与计算方法如下:

景观破碎度指数(C_i):表征在一定时段内,景观由单一均匀的连续整体转变为复杂异质的斑块镶嵌体,即景观整体或部分的破碎化程度。随着破碎度增加,景观内部稳定性和生态系统稳定性都会降低。

$$C_i = n_i / A_i。$$

式中: n_i 为景观类型 i 的斑块数; A_i 为景观类型 i 的总面积。

景观分离度指数(N_i):表征景观中各类景观要素的分离程度。值越高,表明各要素在空间分布上越分散,景观结构越复杂,破碎化程度越高。

$$N_i = l_i \times A / A_i;$$

$$l_i = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n_i}{A}}。$$

式中: n_i 为景观类型 i 的斑块数; A_i 为景观类型 i 的总面积; A 为景观总面积; l_i 为景观类型 i 的距离指数。

景观优势度指数(D_i):表征斑块在景观中的主导地位,反映斑块对景观格局及其动态的影响程度,优势度越小则景观多样性越大。

$$D_i = \frac{(Q_i + M_i)}{4} + \frac{L_i}{2}。$$

表 1 西北地区生态保护红线分区指标体系

Table 1 Zoning index system for ecological conservation redline zoning in northwest China

分区级别 Zoning level	分区类型 Zoning type	分区属性 Zoning attribute	分区特征 Zoning characteristics	分区因子 Zoning factor
一级分区 First-level zoning	生态脆弱区 Ecologically fragile area	生态脆弱性 Ecological vulnerability	气候特征 Climate	气候因子 Climate factor
			植被特征 Vegetation	植被因子 Vegetation factor
二级分区 Second-level zoning	生态系统 状态分区 Ecosystem state zoning	生态系统 服务功能 Ecosystem service function	降水涵养 Water conservation	降水 Precipitation 地表径流量 Surface runoff 蒸散发 Evapotranspiration 生态系统构成 Ecosystem composition
			水土保持 Soil and water conservation	土壤侵蚀性 Soil erosion 地形因子 Terrain factor NPP
			防风固沙 Windbreak and sand fixation	气候侵蚀因子 Climate erosion factor 土壤可蚀性 Soil erodibility NPP 地表粗糙 Roughness
			生物多样性维持 Biodiversity maintenance	气候因子 Climate factor NPP 海拔因子 Altitude factor
		生态环境 敏感性 Ecological sensitivity	水土流失 Soil erosion	降水侵蚀 Precipitation erosion 土壤可蚀性 Soil erodibility 地形 Terrain 植被覆盖 Vegetation cover
			土地沙化 Land desertification	干燥指数 Dryness Index 起风沙天数 Wind and sand days 土壤质地 Soil texture 植被覆盖 Vegetation cover
			完整性 Completeness	破碎度 Degree of Fragmentation
		生态风险 Ecological risk	连通性 Connectivity	分离度 Degree of separation
			干扰性 Disturbance	干扰度 Degree of disturbance
			损失性 Loss	损失度 Degree of loss

表中指标依据《生态保护红线划定指南》采集2015年数据。
The indicator data are derived from 2015 and are based on the Guidelines for the Delineation of Ecological Conservation Redline.

式中: Q_i 为斑块 i 出现的样方占比; M_i 为斑块 i 的数量占比; L_i 为斑块 i 的面积占比。

景观干扰度指数 (S_i): 表征景观受到外界干扰, 特别是人类活动的影响程度。

$$S_i = aC_i + bN_i + cD_i。$$

式中: C_i 为景观破碎度指数, N_i 为景观分离度指数, D_i 为景观优势度指数, a 、 b 、 c 为各景观指数的权重。

景观脆弱度指数 (F_i): 表征受到外界干扰后生态系统的损失程度, 与群落演替阶段有关。处于演替初级阶段、群落结构简单的生态系统脆弱度较高, 专家咨询并归一化。耕地、森林、草地、灌木、湿

地、水体、建设用地和裸地的景观脆弱度指数赋值, 分别为 0.111、0.056、0.119、0.103、0.194、0.167、0.028 和 0.222。

景观损失度指数 (R_i): 表征生态系统在受到外界干扰后, 其自然属性的损失程度。

$$R_i = S_i \times F_i。$$

式中: S_i 为景观干扰度指数, F_i 为景观脆弱度指数。

生态风险指数 (ERI_i):

$$ERI_i = \sum_{i=1}^N \frac{A_{k_i}}{A_k} R_i。$$

式中: R_i 为景观 i 的损失度指数, A_{ki} 和 A_k 分别为风险小区 k 中景观类型 i 的面积与风险小区 k 的总面积。经查阅文献与专家咨询后, 破碎度、优势度和分离度分别赋予 0.6、0.1 和 0.3 的权重^[33]。

1.3.4 生态保护红线分区方法

在分区过程中, 基于“自下而上”的定量合并与“自上而下”的空间系统划分相结合的思想, 指导各指标向高一级合并, 以提高分区的科学性和准确性。在空间聚类时, 采用欧式距离衡量各因子或指标间的相似度, 运用 K 均值聚类法进行生态保护红线分区定量。K 均值聚类的主旨思想是迭代。在确定分类类别后, 首先选定初始聚类中心, 按最小距离法将数值分配到中心, 然后计算新的变量中心, 循环上述步骤, 直到中心不再改变, 则聚类完成^[34]。各指标进行初步分区后需进行边界综合调整, 将一级区分区界线作为约束条件, 指导修正二级区分区界线, 即由生态脆弱性分区界线约束, 指导识别生态系统状态分区界线。此外, 结合“就高不就低”的原则综合考虑, 合并处理零碎斑块, 将其划入相应级别的分区。

参考《生态保护红线划定指南》, 本研究中所使用数据主要来源于中国气象科学数据共享服务网、国家生态系统观测研究服务系统网、全国生态状况遥感调查评估成果、全国生态环境调查 1:100 万土壤数据库、地理空间数据云网站等。

2 研究结果

2.1 生态保护红线一级分区

依据生态脆弱性评估结果, 西北地区可分为 6 个生态保护红线一级分区 (图 1), 生态脆弱性由高至低分别为 A 区、B 区、C 区、D 区、E 区、F 区。

A 区: 青海中-西部至新疆南-西部寒带中温带干旱低植被覆盖区。该区面积 69.6 万 km^2 , 占西北地区总面积的 24.5%, 平均海拔在 6 个一级分区中最高, 为 4 131 m, 人口密度和 GDP 密度在 6 个一级分区中均为最低, 分别为 2.8 人· km^{-2} 和 10.7 万元· km^{-2} 。

B 区: 塔里木-准噶尔-柴达木-河西走廊-宁夏北部中温带暖温带干旱极干旱低植被覆盖区。该区面积在 6 个一级分区中最大, 为 128.96 万 km^2 , 占西北地区总面积的 45.3%, 平均海拔为 1 291 m, 人口密度为 18.9 人· km^{-2} , GDP 密度为 75.4 万元· km^{-2} 。

C 区: 天山阿尔泰山中温带亚干旱较高植被覆盖区, 位于新疆北部边缘地带。该区面积 19.5 万 km^2 , 占西北地区总面积的 6.9%, 平均海拔为 1 572 m, 人口密度为 42.4 人· km^{-2} , GDP 密度为 266.2 万元· km^{-2} 。

D 区: 青海东-南部至宁夏南部陕西北部高原温带中温带亚湿润中植被覆盖区。该区面积 45.0 万 km^2 , 占西北地区总面积的 15.8%, 平均海拔为 3 315 m, 人口密度为 51.9 人· km^{-2} , GDP 密度为 153.4 万元· km^{-2} 。

E 区: 伊犁平原东部中温带亚干旱高植被覆盖区。该区面积 0.73 万 km^2 , 仅占西北地区总面积的 0.3%, 平均海拔为 1 692 m, 人口密度为 39.4 人· km^{-2} , GDP 密度为 95.2 万元· km^{-2} 。

F 区: 陕西中-南部至甘肃东-南部暖温带北亚热带湿润高植被覆盖区。该区面积 20.4 万 km^2 , 占西北地区总面积的 7.2%, 平均海拔为 1 267 m, 人口密度和 GDP 密度均在 6 个一级分区中最高, 分别为 203.4 人· km^{-2} 和 777.7 万元· km^{-2} 。

2.2 生态保护红线二级分区

由熵权法测算的水源涵养、水土保持、防风固沙和生物多样性维持的权重分别为 0.610、0.130、0.030 和 0.230; 水土流失和土地沙化敏感性的权重分别为 0.516 和 0.484。以西北地区生态脆弱性空间分异为基础划分生态保护红线一级区 (图 1), 综合西北地区的生态功能重要性 (图 2)、生态环境敏感性 (图 3) 与区域生态风险 (图 4) 等级的划分结果, 并以此为依据划分 50 个生态保护红线二级分区 (图 5), 各区代码、名称及特征值如表 2 所列。

3 讨论

3.1 西北地区生态保护红线分区结果

西北地区生态脆弱性高等级区面积较大, 约占总面积的 70%, 主要分布在新疆大部, 青海北部、中部, 甘肃北部、西部和宁夏北部、中部 (图 1, A 区和 B 区); 生态脆弱性中等级区面积约占总面积的 22%, 主要分布在新疆北部边缘区、青海东部、南部, 甘肃中部, 宁夏南部, 陕西北部 (图 1, C 区和 D 区); 生态脆弱性低等级区面积仅占总面积的 8%, 主要分布在伊犁平原东部, 甘肃东部、南部以及陕西南部 (图 1, E 区和 F 区)。

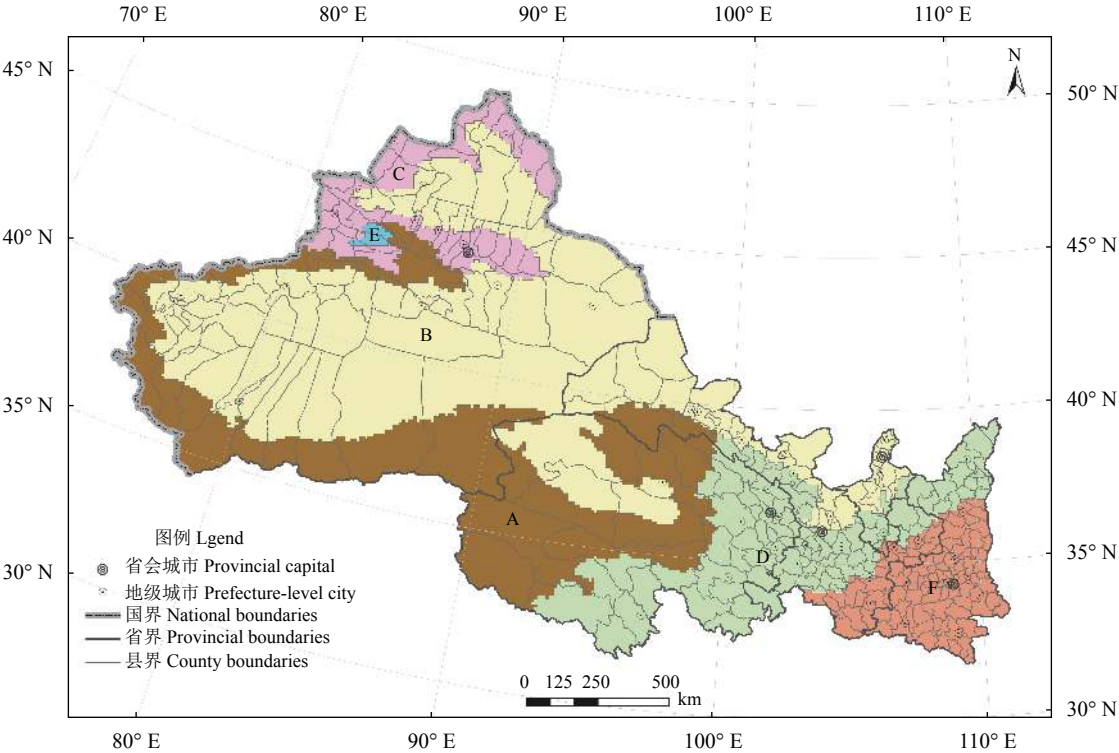


图 1 西北地区生态保护红线一级分区图

Figure 1 First level zoning of the ecological conservation redline in northwest China

A 区：青海中-西部至新疆南-西部寒带中温带干旱低植被覆盖区；B 区：塔里木-准噶尔-柴达木-河西走廊-宁夏北部中温带暖温带干旱极干旱低植被覆盖区；C 区：天山阿尔泰山中温带亚干旱较早高植被覆盖区；D 区：青海东-南部至宁夏南部陕西北部高原温带中温带亚湿润中植被覆盖区；E 区：伊犁平原东部中温带亚干旱高植被覆盖区；F 区：陕西中-南部至甘肃东-南部暖温带北亚热带湿润高植被覆盖区。

Zone A is a frigid and mid-temperate, dry area with low vegetation cover, and is located between middle-west Qinghai and south-west Xinjiang; Zone B is a mid-temperate and warm temperate, dry and extremely dry area with low vegetation cover, and is located between the Tarim-Junggar-Qaidam-Hexi Corridor and north Ningxia; Zone C is a mid-temperate, sub-dry area with relatively high vegetation cover, and is located between Tianshan and Altai Mountain; Zone D is a temperate and medium temperate, sub-humid area with medium vegetation cover, and is located between east and south Qinghai, and south Ningxia and north Shaanxi; Zone E is a middle-temperate, sub-dry area with high vegetation cover, and is located in the eastern Yili Plain; and Zone F is a warm-temperate and north subtropical, humid area with high vegetation cover, and is located between middle-south Shaanxi and east-south Gansu.

西北地区生态系统服务功能等级呈现由东南向西北逐渐递减的趋势。高值区(6、7级区)主要分布在陕西南部及陕西、甘肃交界地带,仅占西北地区总面积的9%;中值区(3、4、5级区)主要分布在青海大部、甘肃南部、新疆北部等地区,占总面积的43%;低值区主要分布在新疆塔克拉玛干沙漠、青海柴达木沙漠地区,占总面积的48%(图2)。

西北地区生态环境敏感性高值区(6、7级区)集中在新疆东部和西南部边缘区、甘肃和青海交界处以及青海西南部,占总面积的22%;中值区(3、4、5级区)主要分布在甘肃中部、青海大部、宁夏、新疆中部,占总面积的63%;低值区(1、2级区)分布在陕西北部、中部地区,新疆北部、中部以及南部边缘地带,占总面积的15%(图3)。

西北地区生态风险高值区(6、7级区)主要分布在新疆北部、南部和东部地区,甘肃西北部地区以及青海西北部地区,占总面积的35%;中值区(3、4、5级区)主要分布在新疆西北部、陕西北部、青海大部、宁夏和甘肃中部,占总面积的38%;低值区(1、2级区)集中分布在陕西中部、南部地区以及甘肃南部地区,占西北地区总面积的27%(图4)。

3.2 二级综合分区体系的优越性

首先,二级生态保护红线分区体系不仅能够反映西北地区生态脆弱性的空间分异规律,体现生态脆弱性与生态功能重要性、生态环境敏感性及生态风险间的关系,而且能够从不同的空间尺度上更全面系统地阐释生态系统特征、结构、功能及状态;其次,本研究将区域生态风险评估纳入生态保护红线

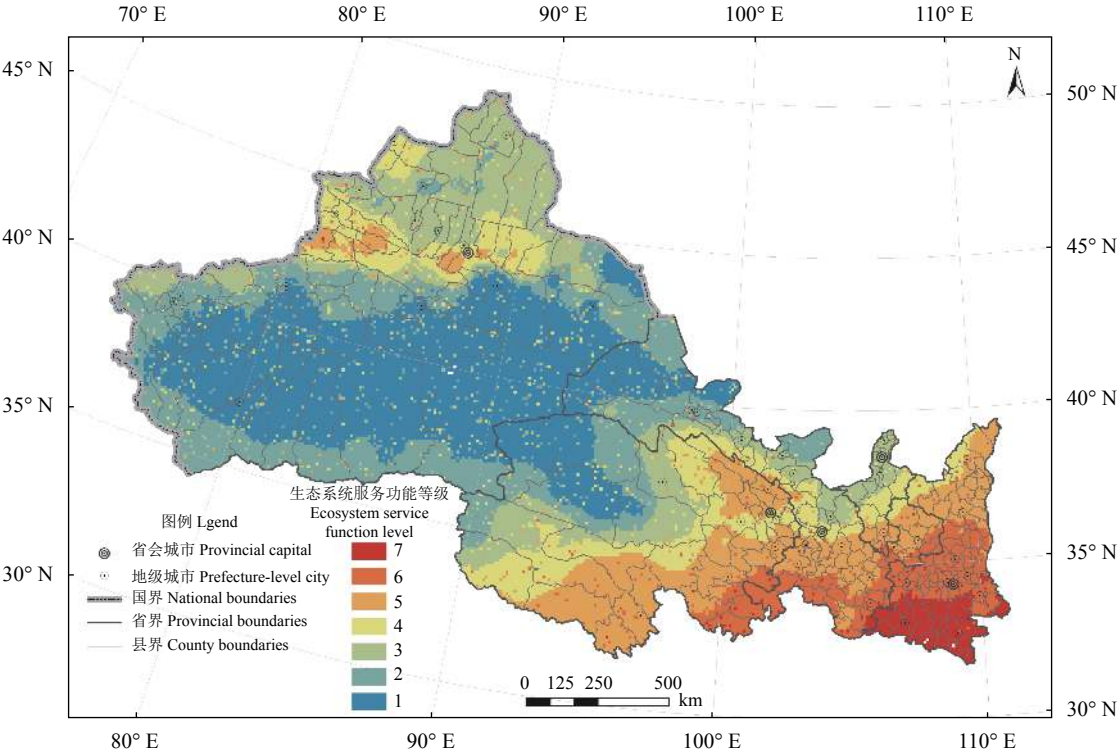


图 2 西北地区生态系统服务功能等级空间分异图

Figure 2 Spatial differentiation of ecosystem services in northwest China

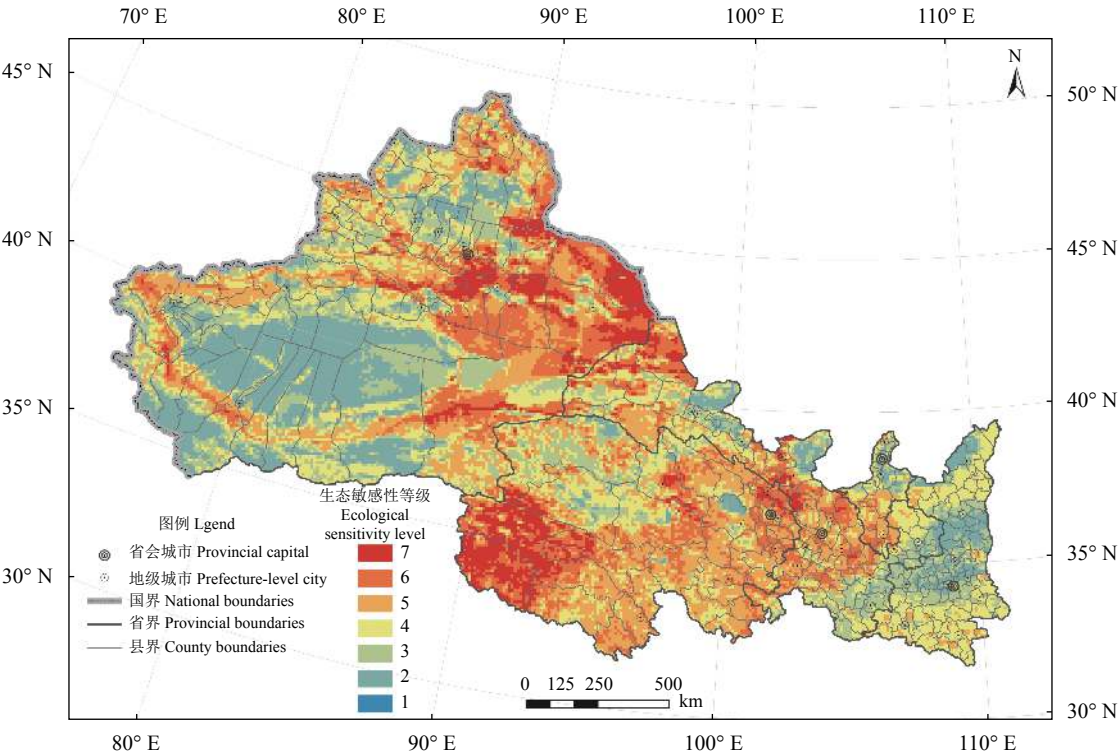


图 3 西北地区生态敏感性等级空间分异图

Figure 3 Spatial differentiation of ecological sensitivity in northwest China

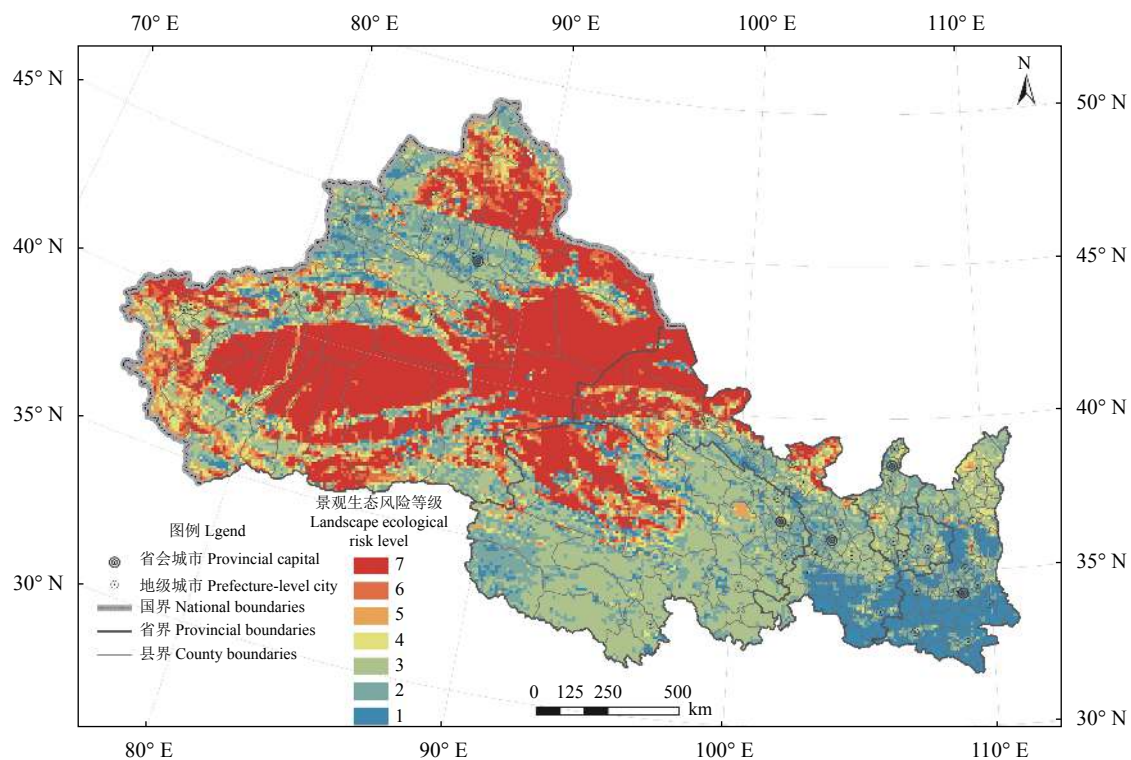


图 4 西北地区生态风险等级空间分异图

Figure 4 Spatial differentiation of ecological risk in northwest China

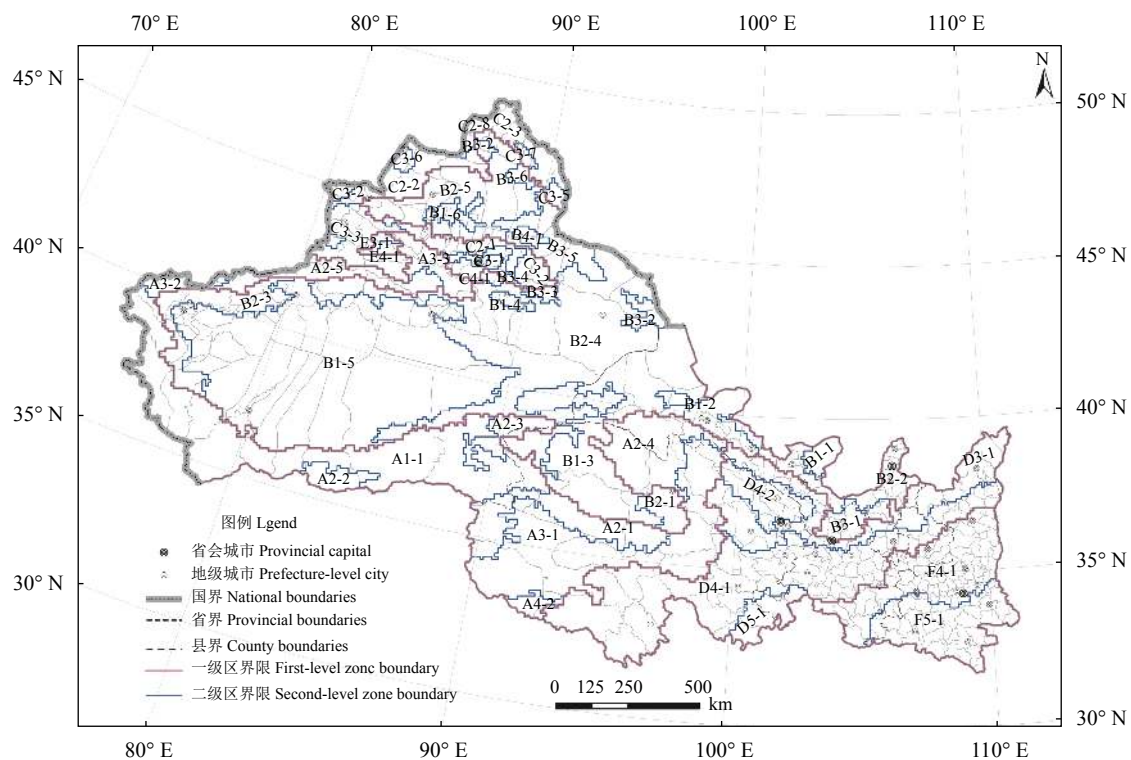


图 5 西北地区生态保护红线分区图

Figure 5 Ecological conservation redline zoning in northwest China

表 2 西北地区生态保护红线分区名称及特征值
Table 2 Names and characteristic values for ecological conservation redline zoning in northwest China

一级码 First-level code	二级码 Second-level code	二序码 Second-order code	分区码 Zoning code	地名 Place name	NESFI	NESI	NERI
A	1	1	A1-1	南疆 South Xinjiang	5.5	24.0	26.4
A	2	1	A2-1	格尔木北区南 South of north district Golmud City	9.5	50.1	17.9
A	2	2	A2-2	民丰县南 South Minfeng County	6.4	26.4	56.4
A	2	3	A2-3	若羌县南 South Ruoqiang County	2.9	47.6	45.4
A	2	4	A2-4	德令哈市东 – 肃南县西 East Delhi City – West Yugur Autonomous County of Sunan	11.4	37.8	23.0
A	2	5	A2-5	和静县中 – 阿合奇县北 Middle Hejing County – North Aheqi County	19.5	33.2	18.7
A	3	1	A3-1	天峻县 – 治多县西 Tianjun County – West Zhiduo County	26.6	63.6	12.8
A	3	2	A3-2	乌恰县北 – 阿图什县北 North Wuqia County – North Atushi County	16.7	46.9	82.8
A	3	3	A3-3	乌苏县南 – 和静县东 South Wusu County – East Hejing County	28.1	52.0	13.8
A	4	1	A4-1	格尔木市南区 – 杂多县西 South Golmud City – West Zaduo County	37.0	71.1	13.7
B	1	1	B1-1	民勤县 Minqin County	9.2	12.5	34.8
B	1	2	B1-2	玉门市 – 张掖市 Yumen City – Zhangye City	7.3	17.8	35.1
B	1	3	B1-3	敦煌市 – 德令哈市 – 格尔木市北 Dunhuang City – Delhi City – North Golmud City	2.6	28.0	42.6
B	1	4	B1-4	吐鲁番市中 Middle Turpan City	0.0	32.5	24.8
B	1	5	B1-5	塔里木盆地 Tarim Basin	1.8	14.9	40.9
B	1	6	B1-6	克拉玛依市南 – 昌吉市北 South Karamay City – North Changji City	14.7	0.0	21.3
B	2	1	B2-1	乌兰县南 – 都兰县北 South Wulan County – North Dulan County	13.1	37.1	35.1
B	2	2	B2-2	宁夏北 – 金昌市 North Ningxia – Jinchang City	17.1	32.1	21.5
B	2	3	B2-3	乌什县西 – 乌恰县东 – 叶城县 West Wushi County – East Wuqia County – Yecheng County	8.0	49.8	44.8
B	2	4	B2-4	拜城县南 – 哈密市 – 肃北县 South Baicheng County – Hami City – Subei County	3.9	57.3	46.9
B	2	5	B2-5	富蕴县中 – 克拉玛依市北 – 精河县北 Middle Fuyun County – North Karamay City – North Jinghe County	15.0	27.9	36.0
B	3	1	B3-1	永登县东 – 白银市 – 同心县西 East Yongdeng County – Baiyin City – West Tongxin County	22.9	53.4	14.7
B	3	2	B3-2	哈密市东 East Hami City	7.4	78.1	53.1
B	3	3	B3-3	鄯善县北 North Shanshan County	6.8	88.5	52.2
B	3	4	B3-4	乌鲁木齐县东 East Urumqi County	12.9	100.0	15.0
B	3	5	B3-5	巴里坤县西 – 福海县南 West Balikun County – South Funan County	20.3	61.6	48.6
B	3	6	B3-6	福海县东 – 富蕴县北 East Fuhai County – North Fuyun County	15.4	53.2	52.5

续表 2

Table 2 (Continued)

一级码 First-level code	二级码 Second-level code	二序码 Second-order code	分区码 Zoning code	地名 Place name	NESFI	NESI	NERI
B	3	7	B3-7	布尔津县南 – 吉木乃县北 South Buerjin County – North Jimunai County	15.1	55.5	54.7
B	4	1	B4-1	富蕴县南 – 奇台县西 South Fuyun County – West Qitai County	25.2	81.5	52.8
C	2	1	C2-1	乌苏市中 – 昌吉市中 – 吐鲁番市北 Middle Wusu City – Middle Changji City – North Turpan City	20.8	25.3	10.6
C	2	2	C2-2	吉木乃县南 – 博乐市 South Jimunai County – Bole City	21.5	29.3	18.5
C	2	3	C2-3	哈巴河县 – 富蕴县北 Habahe County – North Fuyun County	17.9	43.3	23.6
C	3	1	C3-1	呼图壁县南 – 乌鲁木齐市 – 吉木萨尔县西 South Hutubi County – Urumqi City – West Jimusaer County	29.5	53.5	9.3
C	3	2	C3-2	奇台县南 – 木垒县西 South Qitai County – West Mulei County	29.3	50.0	18.3
C	3	3	C3-3	和静县西 – 伊宁市 – 昭苏县 West Hejing County – Yining City – Zhaosu County	33.5	33.9	9.9
C	3	4	C3-4	温泉县西 – 霍城县北 West Wenquan County – North Huocheng County	23.2	50.8	15.3
C	3	5	C3-5	青河县中 Middle Qinghe County	17.5	57.3	51.8
C	3	6	C3-6	塔城市南 – 裕民县北 South Tacheng City – North Yumin County	28.0	33.1	12.1
C	3	7	C3-7	阿勒泰市东 – 福海县北 East Aletai City – North Fuhai County	17.1	45.3	100.0
C	3	8	C3-8	吉木乃县西 West Jimunai County	18.3	46.7	40.5
C	4	1	C4-1	昌吉市南 – 乌鲁木齐县西 South Changji City – West Urumqi County	40.4	63.5	10.2
C	4	2	C4-2	昭苏县北 North Zhaosu County	50.6	31.8	6.2
D	3	1	D3-1	河西走廊南 – 共和县 – 兰州市 – 陕北 South Hexi Corridor – Gonghe County – Lanzhou City – North Shaanxi	35.1	36.9	13.1
D	4	1	D4-1	青海南 – 陇中 – 陕北 South Qinghai – Longzhong – North Shaanxi	50.3	46.0	12.7
D	4	2	D4-2	祁连县 – 互助县 Qilian County – Huzhu County	44.4	58.1	11.5
D	5	1	D5-1	碌曲县 – 班玛县 Luqu County – Banma County	74.3	47.9	14.4
E	3	1	E3-1	尼克勒县中 – 巩留县南 Middle Nikele County – South Gongliu County	44.3	23.6	9.3
E	4	1	E4-1	新源县中 Middle Xinyuan County	48.5	35.5	11.7
F	4	1	F4-1	陇南市 – 关中 – 陕北 Longnan City – Guanzhong – North Shaanxi	63.6	15.3	6.0
F	5	1	F5-1	陕南 South Shaanxi	100.0	30.2	0.0

一级码表征生态脆弱性等级, 由A至F分别代表生态脆弱性极高、高、较高、中、较低、低6个等级; 二级码表征生态系统状态等级, 由1至5分别代表差、较差、中、较好、好5个等级; 二序码代表相同等级的生态脆弱性与生态系统状态下的分区序号。NESF, 归一化生态服务功能指数; NESI, 归一化生态环境敏感性指数; NERI, 归一化生态风险指数。

The first level code represents the ecological vulnerability level. From A to F, the six levels of ecological vulnerability are extremely high, high, relatively high, medium, relatively low, and low, respectively. The second-level code represents the ecological system status level. Numbers 1 to 5 represent five levels: poor, relatively poor, medium, relatively good, and good, respectively. The second code represents the ecological vulnerability at the same level and the zoning number for the state of the ecosystem. NESF, Normalized ecological service function index; NESI, Normalized ecological sensitivity index; NERI, Normalized ecological risk index.

分区体系中,并通过引入权重充分考虑生态系统服务功能、生态环境敏感性、区域生态风险中各单项指标在决定生态系统状态中的相对重要性,改进和完善了生态保护红线分区指标体系和技术方法,使其能够更客观地表征关键生态属性的空间分异规律;再次,区域尺度上的生态保护红线分区可以协调各相邻行政区在保护区分区中的空间冲突和矛盾,解决由行政边界导致的地理单元在生态保护区划分中出现的隔离问题,保证生态系统的结构完整性和连通性;最后,在 3S 技术支持下,基于“自下而上”的定量合并与“自上而下”的空间系统划分相结合的思想,采用多维聚类、分区分级等定性定量相结合的方法,将栅格尺度的分区数据定量综合到基本分区单元,极大地提高了分区界线的准确性。

4 结论

本研究依据国家在生态保护红线方面的宏观政策要求和技术指导,充分考虑西北地区最显著的生态

环境特征(生态脆弱性结合生态系统服务功能、生态环境敏感性与区域生态风险等要素的空间分异特征),构建了多尺度、多要素的生态保护红线二级分区体系并进行了分区,进一步体现了西北地区生态系统特征的空间分异,为西北地区生态保护红线分区优化提供了定量参考。研究结果表明,西北地区可分为 6 个一级分区,生态脆弱性由高至低面积占比分别为 24.5%、45.3%、6.9%、15.8%、0.3% 和 7.2%。在一级分区约束下,基于生态系统服务功能、生态环境敏感性和区域生态风险决定的生态系统状态,将西北地区进一步划分为 50 个生态保护红线二级分区。

由于生态保护红线的本质是一条空间界线,且生态学单元具有很强的尺度效应,不同尺度的数据、规律无法建立起有效的对应关系,会导致指导性不足或偏差等问题。后续研究应在不同空间格局上,全面构建以生态保护红线为空间界线的,以数值型红线为指导标准的多尺度立体式综合红线体系,全面保障和维护生态系统安全。

参考文献 References:

- [1] 郭兵,孔维华,姜琳.西北干旱荒漠生态区脆弱性动态监测及驱动因子定量分析. *自然资源学报*, 2018, 33(3): 412-424.
GUO B, KONG W H, JIANG L. Dynamic monitoring of ecological vulnerability in arid desert ecological region of northwest China and the quantitative analysis of its driving forces. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(3): 412-424.
- [2] 符娜,李晓兵.土地利用规划的生态红线区划分方法研究初探. //2007 年中国地理学会学术年会论文集. 南京:中国地理学会, 2007.
FU N, LI X B. Study on the division method of ecological red line in land use planning. //Proceedings of 2007 Annual Meeting of Chinese Geographical Society. Nanjing: Geographical Society of China, 2007.
- [3] 李干杰.“生态保护红线”:确保国家生态安全的生命线. *求是*, 2014(2): 44-46.
LI G J. ‘Ecological protection red line’: The lifeline to ensure national ecological security. *Seeking Truth*, 2014(2): 44-46.
- [4] 郑华,欧阳志云.生态红线的实践与思考. *中国科学院院刊*, 2014, 29(4): 457-461, 448.
ZHENG H, OUYANG Z Y. Practice and consideration for ecological redlining. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2014, 29(4): 457-461, 448.
- [5] 于骥,何彤慧.对生态红线的研究:宁夏生态红线划定的问题和思考. *环境科学与管理*, 2015, 40(1): 173-176.
YU J, HE T H. Understanding and observation of ecological red line: Problem and thinking of dawning ecological red line in Ningxia. *Environmental Science and Management*, 2015, 40(1): 173-176.
- [6] 莫张勤.生态保护红线法律责任的实践样态与未来走向. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(11): 112-119.
MO Z Q. The practice and future tendency of legal responsibility in the red line of ecological protection. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(11): 112-119.
- [7] 李萌.基于环境介质的生态底线指标体系构建及考核评价. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(7): 10-17.
LI M. Establishment and assessment of the ecological bottom-line index system based on environmental media. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(7): 10-17.
- [8] 赵万奎,张晓庆,陈智平,程小云,雒剑波.基于 GIS 的金昌市生态功能区划分及发展对策. *草业科学*, 2019, 36(11): 2989-2996.
ZHAO W K, ZHANG X Q, CHEN Z P, CHENG X Y, LUO J B. GIS-based study on the partition ecological-function areas and

- development strategies of Jinchang City. *Pratacultural Science*, 2019, 36(11): 2989-2996.
- [9] SAURA S, BASTIN L, BATTISTELLA L, MANDRICI A, DUBOIS G. Protected area in the world's ecoregions: How well connected are they? *Ecological Indicators*, 2017, 76: 144-158.
- [10] HAUSNER V H, ENGEN S, BLUDD E K, YOCCOZ N G. Policy indicators for use in impact evaluations of protected area networks. *Ecological Indicators*, 2017, 75: 192-202.
- [11] 涂振顺, 黄玥, 黄金良, 杨顺良, 罗美雪. 海岸建筑后退线设置方法与实践研究. *海洋环境科学*, 2018, 37(3): 432-437.
TU Z S, HUANG Y, HUANG J L, YANG S L, LUO M X. Method and practice in setting coastal constructive setback line. *Marine Environmental Science*, 2018, 37(3): 432-437.
- [12] 姚钰清, 李勇. 苏州市生态红线区域的划定及关键影响因素分析. *资源节约与环保*, 2014(10): 170.
YAO Y Q, LI Y. Delimitation of ecological red line area and analysis of key influencing factors in Suzhou. *Resources Economization & Environmental Protection*, 2014(10): 170.
- [13] 唐一苗, 程婷. 无锡市生态红线区域划定与保护. *绿色科技*, 2015, 6(6): 246-247.
TANG Y M, CHENG T. Delineation and protection of ecological red line area in Wuxi City. *Journal of Green Science and Technology*, 2015, 6(6): 246-247.
- [14] 刘军会, 马苏, 高吉喜, 邹长新, 王晶晶, 刘志强, 王丽霞. 区域尺度生态保护红线划定: 以京津冀地区为例. *中国环境科学*, 2018, 38(7): 2652-2657.
LIU J H, MA S, GAO J X, ZOU C X, WANG J J, LIU Z Q, WANG L X. Delimiting the ecological conservation redline at regional scale: A case study of Beijing-Tianjin-Hebei region. *China Environmental Science*, 2018, 38(7): 2652-2657.
- [15] 乔艳萍, 刘学录, 任君. 基于 RS 和 GIS 的嘉峪关市生态保护红线划定. *甘肃农业大学学报*, 2018, 3(53): 126-133.
QIAO Y P, LIU X L, REN J. Based on RS and GIS to delimit the ecological protection red line of Jiayuguan City. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2018, 3(53): 126-133.
- [16] 杜悦悦, 胡熠娜, 杨旻, 彭建. 基于生态重要性和敏感性的西南山地生态安全格局构建: 以云南省大理白族自治州为例. *生态学报*, 2017, 37(24): 8241-8253.
DU Y Y, HU Y N, YANG Y, PENG J. Building ecological security patterns in southwestern mountainous areas based on ecological importance and ecological sensitivity: A case study of Dali Bai Autonomous Prefecture, Yunnan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(24): 8241-8253.
- [17] 徐文彬, 尹海伟, 孔繁花. 基于生态安全格局的南京都市区生态控制边界划定. *生态学报*, 2017, 37(12): 4019-4028.
XU W B, YIN H W, KONG F H. Development of ecological control boundaries in Nanjing metropolis district based on ecological security patterns. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(12): 4019-4028.
- [18] 吴全, 梁洁, 徐艳红. 内蒙古伊金霍洛旗生态保护红线研究. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(9): 176-183.
WU Q, LIANG J, XU Y H. Delimitation of ecological protection red line in Ejin Horo Banner of Inner Mongolian. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(9): 176-183.
- [19] 燕守广, 唐欢欢, 曹学章, 李海东. 江苏省陆域生态红线区域生态安全评价. *生态环境学报*, 2016, 25(10): 1638-1643.
YAN S G, TANG H H, CAO X Z, LI H D. Ecological security assessment of the terrestrial area of ecological redlines in Jiangsu Province. *Ecology and Environmental Sciences*, 2016, 25(10): 1638-1643.
- [20] 赵玉婷, 李文龙, 陈迪, 余翠, 赵新来, 许静, 郭旭临. 高寒牧区草地生态系统健康动态评价: 以甘南地区为例. *草业科学*, 2017, 34(1): 16-29.
ZHAO Y T, LI W L, CHEN D, YU C, ZHAO X L, XU J, GUO X L. Dynamic assessment of alpine pasture grassland ecosystem health: A case study from the Gannan region. *Pratacultural Science*, 2017, 34(1): 16-29.
- [21] 徐昔保, 马晓武, 杨桂山. 基于生态系统完整性与连通性的生态保护红线优化探讨: 以长三角为例. *中国土地科学*, 2020, 34(5): 94-103.
XU X B, MA X W, YANG G S. Optimizing ecological red line based on ecosystem integrity and connectivity: A case study of Yangtze River Delta. *China Land Science*, 2020, 34(5): 94-103.
- [22] 王江波, 陈敏, 苟爱萍. 一张蓝图目标下省域生态保护红线划定方法差异性. *江苏农业科学*, 2020, 48(14): 290-297.
WANG J B, CHEN M, GOU A P. Differences in the red line delineation methods of provincial ecological protection under the goal of a blueprint. *Jiangsu Agricultural Science*, 2020, 48(14): 290-297.

- [23] 燕守广, 林乃峰, 沈渭寿. 江苏省生态红线区域划分与保护. *生态与农村环境学报*, 2014, 30(3): 294-299.
YAN S G, LIN N F, SHEN W S. Delineation and protection of ecological red lines in Jiangsu Province. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2014, 30(3): 294-299.
- [24] 谢雅婷, 周忠发, 闫利会, 牛颖超, 王历. 贵州省石漠化敏感区生态红线空间分异与管控措施研究. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(4): 624-630.
XIE Y T, ZHOU Z F, YAN L H, NIU Y C, WANG L. Study on spatial variation and control measures of ecological red line in rocky desertification sensitive area of Guizhou Province. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(4): 624-630.
- [25] 李晓翠, 何建华. 生态红线划定的技术方法研究: 以鄂州市为例. *测绘与空间地理信息*, 2017, 40(1): 50-55.
LI X C, HE J H. Research on the technical methods of the delimitation of ecological red line for Ezhou. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2017, 40(1): 50-55.
- [26] 魏金平, 李萍. 甘南黄河重要水源补给生态功能区生态脆弱性评价及其成因分析. *水土保持通报*, 2009, 29(1): 174-178.
WEI J P, LI P. Ecological fragility and its formation cause of important water-supply ecological function area of Yellow River in south Gansu Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29(1): 174-178.
- [27] 赵跃龙, 刘燕华. 中国脆弱生态环境类型划分及其范围确定. *云南地理环境研究*, 1994, 6(2): 34-44.
ZHAO Y L, LIU Y H. The division of type and decision of range on fragile environment in China. *Yunnan Geographic Environment Research*, 1994, 6(2): 34-44.
- [28] 杨育武, 汤洁, 麻素挺. 脆弱生态环境指标库的建立及其定量评价. *环境科学研究*, 2002, 15(4): 46-49.
YANG Y W, TANG J, MA S T. The quantitative assessment and database building on fragile eco-environment. *Research of Environmental Sciences*, 2002, 15(4): 46-49.
- [29] 韦惠兰, 祁应军. 基于遥感监测的青藏高原草地退化及其人文驱动力分析. *草业科学*, 2016, 33(12): 3576-2586.
WEI H L, QI Y J. Analysis of grassland degradation of the Tibet Plateau and human driving forces based on remote sensing. *Pratacultural Science*, 2016, 33(12): 3576-2586.
- [30] 黄智洵, 王飞飞, 曹文志. 耦合生态系统服务供求关系的生态安全格局动态分析: 以闽三角城市群为例. *生态学报*, 2018, 38(12): 4327-4340.
HUANG Z X, WANG F F, CAO W Z. Dynamic analysis of an ecological security pattern relying on the relationship between ecosystem service supply and demand: A case study on the Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou City cluster. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(12): 4327-4340.
- [31] 刘一江, 鲁春霞, 黄绍琳. 京津冀西北农牧交错区水资源承载力综合评价: 以张家口为例. *草业科学*, 2020, 37(7): 1302-1312.
LIU Y J, LU C X, HUANG S L. Comprehensive assessment of water resources carrying capacity in the northwest Beijing-Tianjin-Hebei agro-pastoral ecotone. *Pratacultural Science*, 2020, 37(7): 1302-1312.
- [32] 刘春艳, 张科, 刘吉平. 1976-2013 年三江平原景观生态风险变化及驱动力. *生态学报*, 2018, 38(11): 3729-3740.
LIU C Y, ZHANG K, LIU J P. A long-term site study for the ecological risk migration of landscapes and its driving forces in the Sanjiang Plain from 1976 to 2013. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(11): 3729-3740.
- [33] 谢刚, 谢元贵, 廖小锋, 肖玖军, 卢兰. 基于水土流失敏感性的岩溶地区景观生态风险评价: 以黔南州为例. *水土保持研究*, 2018(3): 298-304.
XIE G, XIE Y G, LIAO X F, XIAO J J, LU L. Ecological risk assessment based on soil and water loss in Karst Area: A case study of Qiannan Prefecture. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018(3): 298-304.
- [34] 万静, 孙永倩, 董怀国, 肖宇鹏, 齐坡. 空间聚类与方向关系的融合技术研究. *计算机工程与应用*, 2016, 52(9): 56-61.
WAN J, SUN Y Q, DONG H G, XIAO Y P, QI P. Research for technology of integration of spatial clustering and direction relationship. *Computer Engineering and Applications*, 2016, 52(9): 56-61.

(责任编辑 王芳)